

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-321225

(43)Date of publication of application : 24.11.2000

(51)Int.Cl.

G01N 23/225  
H01L 21/66

(21)Application number : 2000-046227

(71)Applicant : APPLIED MATERIALS INC

(22)Date of filing : 23.02.2000

(72)Inventor : NOOMU DOTAN  
ALEXANDER KHADZHIEVICH

(30)Priority

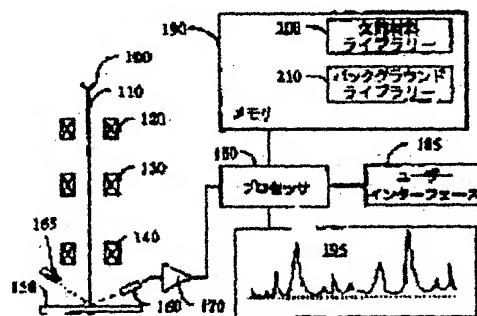
Priority number : 99 255495 Priority date : 23.02.1999 Priority country : US

## (54) SYSTEM AND METHOD FOR AUTOMATICALLY ANALYZING DEFECT MATERIAL ON SEMICONDUCTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To appropriately fix the material composition of a defect by utilizing each material library of defect and background and automatically separating the defect spectrum from the background.

SOLUTION: The system is provided with a defect material library 200 and a background library 210 in a memory 190. By utilizing both the libraries, a processor 180 automatically separates the defect spectrum from the background and appropriately identifies the material composition of the defect. More specifically, the processor 180 where X rays being discharged from a sample 150 are applied obtains each spectrum of the object and background from both the libraries 200 and 210 and counts the spectra corresponding to elements that exist in each. Then, each element in the spectrum count of the object is compared with an element list in the defect material library 200, and the object is defined as a hetero object when elements for counting object spectra exist in the element list.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-321225

(P2000-321225A)

(43) 公開日 平成12年11月24日 (2000. 11. 24)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

G 0 1 N 23/225

G 0 1 N 23/225

H 0 1 L 21/66

H 0 1 L 21/66

L

J

審査請求 未請求 請求項の数16 O L 外国語出願 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2000-46227 (P2000-46227)

(22) 出願日 平成12年2月23日 (2000. 2. 23)

(31) 優先権主張番号 09/255495

(32) 優先日 平成11年2月23日 (1999. 2. 23)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ  
イテッド

APPLIED MATERIALS, I  
NCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州  
95054 サンタ クララ パウアーズ ア  
ベニュー 3050

(72) 発明者 ノーム ドタン

イスラエル, ギヴァタイム, ハマアヤ  
ン ストリート 9

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外2名)

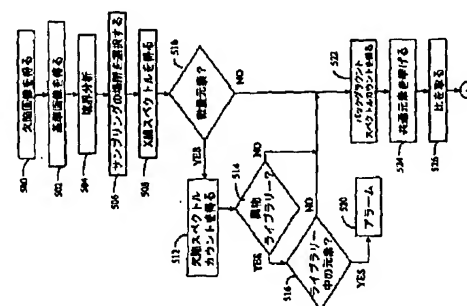
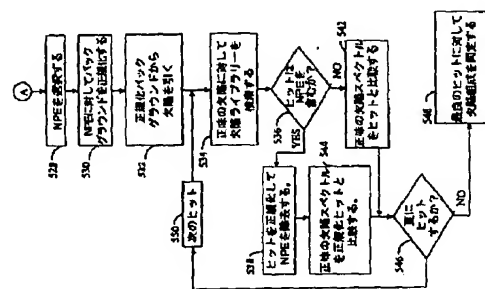
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体上の欠陥材料を自動的に分析するシステム及び方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 半導体ウェーハ上の欠陥の分析に特に有利であり、自動化による製造プラント内でのウェーハのインライン検査に適するシステムを提供する。

【解決手段】 バックグラウンドに起因するx線信号を定量的に考慮する欠陥のEDX自動分析用システムを用いる。本システムは、バックグラウンドと欠陥のx線サンプリングに適切な場所を自動的に同定することができる。本システムは、また、バックグラウンドに起因し欠陥に起因しない信号を効果的に、かつ定性的ではなく定量的に除去することができる。『微量分析』と呼ばれる有利な特徴が本システムのスループットを高くすることを可能にする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 バックグラウンド内の物体の材料自動分析方法であって、  
 物体のスペクトルを得るステップ、  
 バックグラウンドのスペクトルを得るステップ、  
 該物体に存在する元素に対応する、該物体のスペクトルからのカウント数を得るステップ、  
 バックグラウンドに存在する元素に対応する、該バックグラウンドのスペクトルからのカウント数を得るステップ、  
 該バックグラウンドと物体のスペクトルの該カウント数を解析してバックグラウンドと物体のスペクトルに現れる元素が該物体内に存在しない元素であるか否かを決定するステップ、  
 該物体の該スペクトルカウントを前記存在しない元素の該カウントによって標準化して物体の正味カウントを得るステップ、及び該物体の正味カウントを解析して該物体の材料組成を求めるステップを含む方法。

【請求項2】 解析するステップが該バックグラウンドと物体の該カウントスペクトルに現れる共通の元素を全て決定するステップ、  
 各共通元素について、物体カウントとその元素の該バックグラウンドカウントとのカウント比を計算するステップ、及びそれらの比を解析して該共通元素の何れが存在しない元素であるかを決定するステップを含む、請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記比を解析するステップが、最低の比をもつ該元素を前記存在しない元素として定義するステップを含む、請求項2記載の方法。

【請求項4】 前記比を解析するステップが、最低の比を選び、該最低の比が所定の閾値を超える場合には、該最低の比に対応する元素が存在しない元素として定義するステップを含む、請求項2記載の方法。

【請求項5】 前記物体のスペクトルを得るステップが、  
 前記物体の画像を得るステップ、  
 境界分析を行って物体のフットプリントを得るステップ、及びスペクトル測定から該フットプリント上の点を選ぶステップを含む、請求項1記載の方法。

【請求項6】 前記標準化するステップが、  
 前記バックグラウンドの前記スペクトルカウントを前記存在しない元素の前記カウント数によって正規化して正規化したバックグラウンドを得るステップ、及び前記物体の前記物体スペクトルカウントから前記正規化したバックグラウンドを引いて前記正味の物体カウントを得るステップ、を含む、請求項1記載の方法。

【請求項7】 前記正味の物体カウントを解析するステップが、前記正味の物体カウントを物体の材料ライブラリと比較するステップを含む、請求項1記載の方法。

【請求項8】 前記正味の物体カウントを解析するス

テップが、前記正味の物体カウントを物体の材料ライブラリと比較するステップを含む、請求項6記載の方法。

【請求項9】 バックグラウンドスペクトルを得るステップが、  
 メモリからバックグラウンドスペクトルを取り出す方法、  
 前記バックグラウンド上の選択点からバックグラウンドスペクトルを得る方法、及び前記物体の近傍の広いバックグラウンド領域からバックグラウンドスペクトルを得る方法、の1種により行われる、請求項1記載の方法。

【請求項10】 前記物体の材料ライブラリの各エントリについて、該エントリが前記存在しない元素を含むかを求めるステップ、及び該エントリが前記存在しない元素を含む場合には、該エントリを正規化して該存在しない元素を除去するステップを更に含む、請求項8記載の方法。

【請求項11】 前記エントリを正規化するステップが、前記エントリの全カウントレベルを前記エントリの前記存在しない元素の前記カウントに対応する量だけ低下させるステップを含む、請求項10記載の方法。

【請求項12】 前記物体のスペクトルカウントの各元素を物体の材料ライブラリの元素のリストと比較するステップ、及び前記物体のスペクトルカウントの前記元素が前記物体の材料ライブラリの前記元素のリストに全く出てこない場合には、前記物体を異種物体として定義するステップ、を更に含む、請求項1記載の方法。

【請求項13】 前記物体のスペクトルカウントの各元素を異種物体ライブラリの元素のリストと比較するステップ、及び前記該物体のスペクトルカウントの前記元素の1種が前記異種物体ライブラリの該元素のリストに出てくる場合には、前記物体を異種物体として定義するステップ、を更に含む、請求項1記載の方法。

【請求項14】 バックグラウンド内の物体の材料自動分析方法であって、  
 物体のスペクトルを得るステップ、  
 前記物体に存在する元素に対応する、前記物体のスペクトルからカウント数を得るステップ、  
 前記物体のスペクトルカウントの各元素を物体の材料ライブラリの元素のリストと比較するステップ、及び前記物体のスペクトルカウントの前記元素が前記物体の材料ライブラリの前記元素のリストに全く出てこない場合には、前記物体を異種物体として定義するステップ、を含む方法。

【請求項15】 バックグラウンド内の物体の材料自動分析方法であって、  
 物体のスペクトルを得るステップ、  
 前記物体に存在する元素に対応する、前記物体スペクトルからカウント数を得るステップ、  
 前記物体のスペクトルカウントの各元素を物体の材料ラ

ライブラリの元素の表と比較するステップ、及び前記物体のスペクトルカウントの前記元素の1種が前記異種物体ライブラリの前記元素のリストに出てくる場合には、前記物体を異種物体として定義するステップ、を含む方法。

【請求項16】 基板上の欠陥の材料分析用システムであって、  
前記基板にx線を放射させるために励起したビーム、  
前記試料から放射されたx線を集めるx線検出器、  
前記x線検出器の出力を受容及び分析するプロセッサ、  
及び欠陥材料ライブラリ及びバックグラウンドライブラリの少なくとも1種を含むシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、材料から放射されるX線スペクトルを分析することによって、試料の材料組成を同定するシステム及び方法に関し、半導体ウェーハ上に見られる欠陥の材料組成を同定することに関して最も有利な発明である。

【0002】

【従来の技術】半導体ウェーハ上のデバイスを製造する間、ウェーハは定期的に欠陥の検査を受ける。そのような欠陥が発見されると、問題を解決するために、また、他のウェーハに同じような欠陥が入るのを避けるために、欠陥の根本原因を同定することが重要になる。しかし、根本原因の分析が行われている長い時間中、生産ラインを止めるのは、法外に費用のかかる行為である。それ故、最も短い時間で欠陥についてのより多くの情報を集めれば集めるほど、より早く根本原因を同定でき、適切な調整的な行動を実行することができる。根本原因を同定する助けとなる重要なデータの一つは、欠陥の材料組成である。このような同定を得るために、当該技術において多くの試みがなされている。

【0003】マイクロエレクトロニクス工業において用いられている、材料組成を分析する一般的な技術の一つとして、エネルギー分散型X線分析装置(EDX又はEDSとして広く呼ばれている)がある。EDX分析は、一般的に、走査型電子顕微鏡(SEM)を使って行われる。分析される試料は、一次ビームを照射され、それによって表面上又は表面近傍の原子の電子が励起状態からより低いエネルギー状態に落ち、そのときにサンプル表面からx線が放出される。一般的に、K、L及びM-系列で示される基本的放射は、それぞれの元素によって固有である。これにより『フィンガープリント』が得られ、試料表面上又は表面近傍に存在する元素の同定を可能にする。定性分析及び定量分析の両方ともを行うことが可能である。x線信号の強度は、一次ビームエネルギー、検出器の角度、薄膜の厚さ、表面粗さ及び試料中の元素の濃度のような多数の要因によって決定される。最近の技術では、高精度でBeからUまでの元素を検出すること

が可能である。

【0004】波長分散形X線分光器(WDS又はXRF)及びEDXは、また、プラズマ研究及び様々な薄膜と表面の分析において広く用いられている。様々なx線材料分析システムの例としては、フィリップス(Philips) PW1400 波長分散型蛍光X線分析装置、リガク(Rigaku) RIX-3000、ケベックス(KeveX) エネルギー分散型蛍光X線分析装置、ノラン(Noran)によるボイジャー(Voyager)及びオックスフォード(Oxford)によるリンク(Link)が挙げられる。更に知識を与える文献として、米国特許第5,659,172号、同第5,118,041号、同第5,065,020号、同第4,988,872号、同第4,382,183号を参照されたい。これらの教示は、本明細書に援用されている。

【0005】上で述べたように、EDX分析は半導体工業で用いられ、中でも、ウェーハ上の欠陥組成を分析するために使われる。EDX能力をもつSEMシステムを、図1に例示してある。電子源100は、電子を放出するように活性化されてから、レンズ120及び130によって一次電子ビーム110になる。偏向コイル140は、試料150上にビームが向くように及び/又は走査するように用いられる。発生する二次電子(SE)及び後方散乱電子(BSE)は、電子検出器165によって感知され、その出力によって試料のSEM画像が形成される。更に、EDXシステムが動いているときは、試料150から放射されるX線がセンサー160によって検出され、その信号は、増幅器170によって増幅され、プロセッサ180に送られて処理される。プロセッサは、ユーザインタフェース185及びメモリ190に既知の方法で接続される。プロセッサの出力は、プロットされたスペクトル195の形で得られる。

【0006】図1に図示したシステムを用いた試料の検査において、ユーザは検出された欠陥の上に一次電子ビームを向け、x線放射を得る。次に、プロセッサ180は得られたX線放射のスペクトル195を表示し、ユーザはスペクトルのピークを解析して、そのようなピークを出すと思われる元素のリストを得る。しかしながら、このマニュアル方法は、遅く、扱いにくく、欠陥から放射されるx線は、バックグラウンドからのx線放射を含むという事実に影響される。その結果、欠陥の材料とバックグラウンドの材料、即ち、ウェーハとを見分けるのは難しく、しばしば不可能である。これは、一番上の層が誘電体、金属線、コンタクトホール等を構成する様々な元素を含むものであるパターン形成ウェーハにおいて特に問題である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来技術においては、基板と粒子のx線スペクトルを別々に得ることによ

て、この困難を克服するための試みが行われている。実際には、ユーザはマニュアル操作で一次ビームを欠陥上の選択された場所及びバックグラウンド上の選択された場所に合わせなければならない。適切な場所の選択は、ユーザの知識と経験を頼りにユーザによってなされる。それから、ユーザはバックグラウンド及び基板の両方に現れるスペクトルのピークを定量的に同定し、そのような一般的な元素のそれぞれが基板に属しているかどうかユーザの経験に基づいて決定する。わかるように、このようなプロセスから得られる結果は、遅いだけでなく操作者によって異なるものであり、操作者の知識と経験に左右される。従って、従来技術には、欠陥を構成する材料を正確に同定するための自動的に欠陥及びバックグラウンドを調査するシステムが求められている。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、バックグラウンドに帰するx線信号を定量的に考慮に入れて、欠陥の分析を自動的に行うEDXシステムを提供する。本システムは、半導体ウェーハ上の欠陥の分析において特に有益であり、自動であるために製造プラントにおけるウェーハのインライン検査に適している。

【0009】システムが高いスループットを有するようにする有利な特徴の一つは、『微量元素分析』と呼ばれる。知られているように、基本的に2種類の粒子欠陥がウェーハ上に存在し得る。一つの種類は、エッチングで残された粒子、ホトレジスト残渣等の残り物の処理材料である。もう一つの種類は、『異種』粒子、即ち、処理チャンバ壁、ウェーハを固定するチャック、真空及びガスライン等の外部源からもたらされる粒子である。生産ラインの監視において、異種粒子を素早く同定することは、処理チャンバが壊れ、修理又はサービスを必要とすることの兆候であるので非常に重要である。従って、微量元素分析において、システムは得られたx線スペクトルを解析し、ウェーハ上に決して存在しないはずの元素、例えば鉄に気付いたら、システムは、直ちに、異種粒子が入り込んだというアラームを発する。これにより、生産エンジニアがプロセスではなく設備に関する問題を調査することに集中することが援助される。

【0010】本発明の他の有利な特徴は、バックグラウンドに属するx線信号を考慮に入れて、欠陥のEDX分析を自動的に行う能力である。詳しくは、本システムは、バックグラウンド及び欠陥のx線サンプリングに適した場所を自動的に同定することができる。本システムは、また、効果的かつ定性的というよりはむしろ定量的に欠陥には属さずバックグラウンドに属する信号を取り除くことができる。

【0011】発明の方法の一般的な段階としては、次のステップが含まれる(必ずしも次の順番通りではない)。

1. 欠陥を検知するステップ、

2. 欠陥及びその周辺の画像を分析するステップ、
3. 欠陥のEDXスペクトルを得るために欠陥上の好ましい点を決定し、欠陥のEDXスペクトルを得るステップ、
4. 欠陥のスペクトルを分析し、簡便な微量元素分析を行うステップ、
5. 基板のEDXスペクトルを得るために基質上の好ましい点を決定し、好ましい点からX線スペクトルを得るか又はライブラリからバックグラウンドのスペクトルを選択するステップ、
6. 欠陥とバックグラウンドのスペクトルを比較解析して欠陥材料の組成を同定する正味の欠陥スペクトルを得るステップ、
7. 正味のスペクトルを欠陥材料スペクトルライブラリ中のスペクトルと比較して欠陥の種類と原因を同定するステップ。

【0012】他の特徴や利点は、様々な図面に言及している下記的好適実施形態の詳細な説明から明らかになる。

【0013】

【発明の実施の形態】図2は、本発明の実施形態のEDXシステムを例示する図である。図1と同一か又は類似した図2の要素は同様の特性として確認される。図2のシステムの注目すべき相違は、欠陥材料ライブラリ200とバックグラウンド材料ライブラリ210を追加していることである。ライブラリはメモリ190内部に示されているが、システムの異なるメモリに残っていてもよく、プラントネットワーク、又は他の手段を経るシステムによりアクセスできるリモートメモリでもよい。

【0014】ライブラリは、基本的なメモリ領域であり、プレロードデータがあってもなくてもよい。更に詳しくは、欠陥材料ライブラリ200は、たいいてい欠陥を構成する材料に関するスペクトルデータが含まれる。例えば、そのような材料は製造過程に用いられる種々のホトレジスト又はラインやコンタクトホールに用いられる種々の金属である。欠陥ライブラリは、『異物』欠陥に関するデータが含まれても含まれてもよい。『異物』欠陥に関するデータが含まれている場合、他の欠陥材料データから分離することが好ましく、その異種材料の可能な原因(例えば、金属のチャンバ壁や有機材料の真空ライン)に関するデータを含むことが好ましい。バックグラウンド材料ライブラリ210は、欠陥画像が得られる場合にバックグラウンドを構成するウェーハ上の種々の層に関するスペクトルデータを有する。バックグラウンドデータは、プレロードされるか、セットアップ手順中に得られるか又はシステムの正規の演算中に得られる。プロセッサ180は、後述するように、ライブラリを有利に用いてバックグラウンドから欠陥のスペクトルを自動的に分離し、欠陥の材料組成を適切に同定する。

【0015】好適実施形態においては、異なる角度の領域からSE電子及び／又はBSE電子を集め、これによって多視点から画像を生成することができるSEMによってバックグラウンド画像と欠陥画像を得る。このタイプのSEMは、様々なトポグラフィーの高分解能イメージングを可能にする。そのようなSEMは、米国特許第5,644,132号及び同第4,941,980号に記載されており、これらの開示内容は本明細書に全体で援用されている。しかしながら、本発明は、試料をイメージングするとともに試料からx線を放射させることができる他のシステムで実施されることは理解されなければならない。

【0016】材料分析を始める前に、図2のシステムは図3(a)と図3(b)に記載したように予備的操作が行われる。特に、図3(a)はウェーハ上のある場所の画像を示す図であり、図3(b)は欠陥がある以外は同じ場所の画像を示す図である。図3(b)の場所は、図3(a)と異なるダイ(特にロジックデバイス)又は異なるセル(特に記憶装置)であるが、ダイ又はセル内の座標は図3(a)と同じである。描画した場所の表面は、絶縁材料300(例えば、誘電体)及びラインフィーチャ310(例えば、堆積した金属又はイオンが埋め込まれたライン)を含んでおり、組成が異なっている。欠陥材料320は更に別の組成である。

【0017】図2のシステムが達成しなければならない第1課題は、欠陥を再検出し、次にそれを画像の残りから分離することである。即ち、ウェーハがシステムに装填される場合、欠陥マップもシステム上に装填される。欠陥マップは、慣用の手法、例えば、高速検査ツール(CCD、レーザ又はSEMがこのために用いられる)でウェーハの表面を走査することによりつくられる。次に、統計的方法、典型的には、アルゴリズム及び／又はグレースケール分析を用いて、検査ツールが欠陥をもつ確率の高いことが疑われるウェーハ上の場所を同定する。そのような検査ツールの出力が、一般的には欠陥マップと呼ばれる。従って、ウェーハが検査システムから欠陥再検査システムに移される場合、その対応する欠陥マップも移される。

【0018】しかしながら、欠陥再検査SEMシステムの視野が光学システムよりも一般的に小さく、分解能は一桁以上良いので、欠陥マップに与えられる座標は欠陥上のSEMの一次ビームの正確な位置決めに対しては翻訳されない。従って、欠陥マップに示される各欠陥を『再検出する』ための手順が続けられなければならない。既知の再検査手順は何れも満足するものであるが、好適な方法は上で引用した米国特許第5,659,172号に記載されている方法である。

【0019】欠陥が再検出され、基準領域のSEM画像が得られると、例えば、図3(a)及び図3(b)に示されるように、システムにより『欠陥境界』分析が行わ

れる。これは、図3(a)と図3(b)の画像を比較し、エッジ境界が図3(b)に存在し、図3(a)に存在しないことを求めることにより行われる。欠陥境界分析により、欠陥フットプリント、即ち、欠陥のみを含む欠陥の周りに引かれる実質的な境界曲線である欠陥の輪郭境界が示される。その後、システムは基本的にはすぐに材料分析を始めることができ、下記のような種々の方法で行われる。

【0020】図3(b)に示される欠陥は、1より多い材料を含むバックグラウンド上にある。例えば、図には2つ示されている。従って、システムにより、次に単一の材料上にあるサンプリングの場所が選択される。これは、例えば、図3(b)においてはXマークの場所か又はYマークの場所である。所望される場合には、両方の場所が選ばれ、各場所について分析が行われる。システムにより、次に、2つのスペクトル：一つは選ばれた欠陥の場所で一つはバックグラウンド材料の透明な場所、例えば、X'マークとY'マークの場所のスペクトルが得られる。

【0021】EDXサンプリングの欠陥上の好ましい点の選択は、形を考慮するような種々の方法で行われる。例えば、欠陥が単一のバックグラウンド材料にある場合には、好ましい点は欠陥の中心である。即ち、欠陥上の点は全ての欠陥境界から離れている。これは、例えば、欠陥の主軸の中心、欠陥の短軸の中心、欠陥の主軸又は短軸の交差点(但し、それは欠陥境界内にある)等と定義される。

【0022】粒子が2以上の構造フィーチャの境界に残っている場合、欠陥フットプリントはまず対応する領域に分割される。これは、例えば、欠陥画像から消失している基準画像の境界線を記入することにより行われる。その例においては、図3(a)の境界線315の部分は図3(b)には消失している。この境界線部分は、欠陥フットプリントを絶縁体300上にある部分とラインフィーチャ310上にある部分に分けるために用いられる。次に、分析を一度だけ、即ち、バックグラウンド材料についてだけに行いたい場合には、システムはまず分割した欠陥フットプリントの部分が大きいことがわかる。上記で例示した『中心』の測定は、その選ばれた部分に適用される。

【0023】更に、欠陥をサンプリングする実際の点の選択は欠陥全体であることは理解されなければならない。即ち、欠陥の一般的な全領域に照射され、x線信号の試料が得られる。これは、特に、欠陥サイズが一次ビームの直径程度である場合である。

【0024】進行分析に用いられるバックグラウンドスペクトルは、一般的には、次の供給源から得られる。

I- 予め可能なバックグラウンド全てをサンプリングし、得られたスペクトルをバックグラウンドライブラリ210に保存する。次に適当なデータが、境界分析ごと

に欠陥のバックグラウンド上の位置に従って持ってこられる。

ⅠⅠ- 欠陥境界分析によって欠陥の幾何面積の外側のスペクトルを得る。

ⅠⅠⅠ- 欠陥の周りの大きな面積のスペクトルを得、その面積は十分に大きいので欠陥重量は無視でき、得られたスペクトルは欠陥の下のバックグラウンドを表している。

ⅠⅤ- 基準ダイの同じ位置の欠陥のスペクトルを得る。

【0025】次に、システムにより、欠陥とバックグラウンドスペクトルの定量分析が行われてスペクトルとバックグラウンドに存在する異なる元素の正味のカウント数を得る。次に、システムは図4(a)～図4(d)に示されるそれに用いる3組のデータ：欠陥ライブラリ中の種々のエントリの欠陥材料のカウント数(一つのエントリを図4(a)に示し、他のエントリを図4(d)に示す)、バックグラウンドスペクトルのカウント数(図4(b))、及び欠陥スペクトルのカウント数(図4(c))を有する。図4(a)～図4(c)においては、単一のプライム符号はバックグラウンドスペクトルの元素のカウント数を示し、2重プライム符号は欠陥スペクトルの元素のカウント数を示すことに留意されたい。

【0026】次に、欠陥とバックグラウンドの双方のスペクトルに存在する元素のリストがつくられる(例えば、図4(a)～図4(c)については元素AとDである)。このリストの各元素については、欠陥スペクトルの正味カウントとバックグラウンドスペクトルの正味カウントの比が計算される(例えば、 $A''/A'$ 及び $D''/D'$ )。次に、比が最低の元素は欠陥に存在しない元素であると考えられる。即ち、スペクトルはバックグラウンド材料のみによるものである(以後、この元素は『存在しない元素』又は『NPE』と呼ばれる)。図4(a)～図4(c)の例から、比 $D''/D'$ は $A''/A'$ より小さいことがわかる。しかしながら、他のアルゴリズムが用いられることは理解されなければならない。例えば、NEP比は設定されるので、最低の比がNEP比を超える場合のみ存在しない元素としてみなされる。NEPが見られない場合には、システムは比較段階に進行し、正規化段階を抜いてもよい。

【0027】好適実施形態によれば、進行ステップは、選ばれた場所で得られたスペクトルが欠陥材料と欠陥の下のバックグラウンド材料から放射されたx線の線形和であるという仮定で行われる。この仮定が高速分析方法を簡便化するが、線形以外の関係も用いられる。特に、線形関係が仮定されるので、バックグラウンドスペクトルは欠陥に存在しないことが求められた元素のカウントによって正規化される。この正規化は、好適実施形態のように線形であるが、別のものも選ばれる。次に、得ら

れた正規化バックグラウンドスペクトルを欠陥スペクトルから引いて正味の欠陥スペクトルを得る。図4(a)～図4(c)の例においては、 $A'' - A'$ 、ここで、 $A'$ はD'のカウント数により正規化されたA'のカウント数を示す。次に、正味の欠陥スペクトルを欠陥材料ライブラリ200と比較して欠陥の種類、例えば、残渣レジスト材料を求める。

【0028】本発明を更に明らかにするために数値例を示す。欠陥スペクトルとバックグラウンドスペクトルを得る。双方のスペクトル元素においては、特にOとSiが存在し、次のカウントを有する。欠陥スペクトルでは：O-1000正味カウント、Si-500正味カウントバックグラウンドスペクトルでは：O-10000正味カウント、Si-10000正味カウント欠陥/バックグラウンドスペクトル比はOが0.1であり、Siが0.05である。従って、Siは存在しない元素として示される(即ち、比が低い)。次に、バックグラウンドスペクトルを欠陥スペクトルの存在しない元素のSi正味カウント数によって正規化する。この数値例においては、バックグラウンドスペクトルはSiラインに500正味カウントを有するように正規化される(即ち、バックグラウンドスペクトルカウントを20で割る)。次に、正規化バックグラウンドを欠陥スペクトルから引くので、Siが欠陥スペクトルから除去され、Oが対応して調節される。

【0029】比が最も低い元素が欠陥材料に存在しないという仮定が当てはまらないことは当然のことである。バックグラウンドスペクトルに現れる元素のいくつか又は全部が欠陥材料に存在する場合が可能である。従って、システムにより次の手順が行われる。まず、欠陥材料ライブラリについて存在しないとみなされる元素を含む欠陥材料を走査し、ヒットの収集を得る。次に、収集からの各ヒットについて、システムによりそのヒット中の『存在しない』元素の正味カウントに従ってバックグラウンドスペクトルが正規化され、ヒットから正規化したバックグラウンドカウントが引かれる(即ち、『存在しない』元素がヒットから除去される)。次に、システムにより、正味の欠陥スペクトルがこの方法で正規化されたヒットと比較される。存在しない元素を含まないヒットを、予備的処理をせずに正味の欠陥スペクトルと比較する。一般的には、比較は最小二乗法又は他のアルゴリズムに基づくものである。

【0030】例えば、欠陥材料ライブラリ200からシステムが図4(d)に例示される欠陥材料データをもつヒットを得ることを前提とすると、ある量の元素Dが含まれる(3重のプライム符号は元素が欠陥材料ライブラリから得られたヒットの一つに出てくることを意味する)。次に、バックグラウンドスペクトルを $D'''$ によって正規化するので、正規化バックグラウンドスペクトルをヒットスペクトルから引く場合、 $D'''$ がヒットスペク

トルから削除される。次に、正味のヒットスペクトルを正味の欠陥スペクトルと比較して欠陥材料の種類を同定する。

【0031】本発明の特に有利な特徴をここで記載する。これは『微量元素分析』と呼ばれる。多くの場合、欠陥スペクトルの個々の元素（又は数元素）の存在により欠陥材料が求められ、その原因が示唆される。例えば、鉄（Fe）は半導体デバイスの製造に用いられない。欠陥スペクトルによるその元素量の検出は、外部供給源から導入されたことを直接示唆し、おそらく不完全な製造精密レシビの結果ではないと思われる。従って、その欠陥を直ちにフラグすることが有利である。これは、本発明の微量元素分析を用いて行われる。

【0032】微量元素分析についての手順はむしろ簡便化され迅速である。特に、x線スペクトルが欠陥上の選ばれた場所から集められ、その組成を分析する。スペクトルが異物欠陥ライブラリに含まれる元素の組合わせの微量を含む場合には、欠陥が外部原因によっているようにフラグされ、異種材料の潜在的原因のリストが異種材料ライブラリから取り出される。異種材料ライブラリが用いられない場合には、ライブラリ200と210の何れにも挙げられていない元素の微量を含む場合の外部原因によるものとしてフラグされる。

【0033】本発明を実施する具体的なフローチャートを図5に示す。欠陥画像と基準画像はステップ500と502で得られ、境界分析はステップ504で行われる。次に、サンプリングの場所が選ばれ、ステップ506、x線サンプリングがステップ508で集められる。微量元素分析が行われる場合には（移行部510）、プロセスがステップ512に進む。さもなければ、ステップ522に進む。

【0034】ステップ512においては、欠陥スペクトルのカウント数はスペクトル試料に存在する元素を求めるために得られる。異物ライブラリが存在する場合には（移行部514）、スペクトル試料からの元素の組合わせの何れがライブラリからの元素と合致するかが求められる（移行部516）。そうならば、アラームが出される。更に、異種元素ライブラリがその可能な元素源に関するデータを含む場合には、データはユーザの役に立つ。試料からの元素が全て欠陥材料ライブラリ元素に適合しない場合には、プロセスはステップ522に続く。

【0035】ステップ522においては、バックグラウンドスペクトルのカウント数を得、ステップ524においては、共通元素、即ち、欠陥とバックグラウンドの双方のスペクトルに出てくる元素のリストがつけられる。ステップ526においては、欠陥とバックグラウンドからの共通元素全ての比を得、ステップ528においては、最低比に対応する元素がNPEとして選ばれる。ステップ530においては、バックグラウンドスペクトルがNPEに対して正規化され、ステップ532においては、

正規化したバックグラウンドスペクトルが欠陥スペクトルから引かれる。各ヒットについては、システムがNPEを含むかを調べる（移行部536）。そうならば、システムがヒットを正規化してヒットスペクトルカウントからNPEを除去してから、正味欠陥スペクトルカウントと比較する（ステップ544）。ヒットがNPEを含まない場合には、正規化せずに正味欠陥スペクトルと比較する。ヒットを全て使い果たすために、ループが示される（ステップ546、550）。ヒットが全て使い果たされた場合には、欠陥材料として最良のヒットが欠陥材料ライブラリから利用できる他の情報と共に示される（ステップ548）。

【0036】上記の実施形態が具体例であり、本発明がその実施に限定されないことは理解されるべきである。対照的に、種々の変更や修正が、前述の特許請求の範囲に定義される本発明の範囲と精神から逸脱することなく行われる。

【0037】例えば、種々の環境においては、バックグラウンドの材料組成は予め既知である。その単純な例は、裸（bare）の又はパターン形成されないウェーハを検査する場合である。ウェーハが『裸のウェーハ』である場合には、基本的には既知の組成、シリコンの基板である。従って、シリコン以外に検出された元素は、欠陥を含んでいる。同様に、ウェーハが『パターン形成されない』ウェーハ、例えば、モニタリングウエハである場合には、均一な上層の材料組成は既知、例えば、SiO<sub>2</sub>誘電体である。その環境のもとでは、バックグラウンド上のスペクトルをサンプリングする必要がない。代わりに、バックグラウンドライブラリ210のその材料のスペクトルの収集が保存され、バックグラウンドスペクトルがコンピュータ化と分析が必要な場合に、プロセッサ180によりライブラリ210からそのスペクトルが取り出される。

【0038】上記プロセスが裸の又はパターン形成されないウェーハに限定されず、バックグラウンド組成が予め既知であるときにいつでも用いられることは当然のことである。従って、例えば、セットアッププロセス（例えば、レシビ準備）中にユーザが上層に存在する種々の異なる材料に対応するウェーハ上の選ばれた場所のスペクトルサンプリングを用いるようにシステムがプログラムされる。次に、システムにより、各試料がバックグラウンドライブラリと比較され、バックグラウンドを構成する材料が決定される。種々のバックグラウンド上のウェーハに存在する材料のリストが得られると、システムはもはやバックグラウンドスペクトルをサンプリングする必要がない。代わりに、バックグラウンドライブラリ210からのコンピュータ化と分析に必要とされるデータが取り出される。

【0039】他の有効な変更は次の通りである。バックグラウンドライブラリ210がデータを含まないとき、



又は検査すべき個々の層に関係があるデータを含まないときは、システムがセットアップ手順中にバックグラウンドライブラリをつくるか又は更新することができる。特に、システムにより、検査中に層に存在する異なる材料に対応するウェーハ上の種々の場所のスペクトルがサンプリングされる。スペクトルについてカウント数を解析し、バックグラウンドライブラリ210に保存する。その後、プロセッサ180がコンピュータ化又は分析にバックグラウンドデータを必要とするときは、ライブラリ210からバックグラウンドデータが取り出される。

【0040】上記好適実施形態のシステムを、半導体ウェーハ上の欠陥を検査するために用いた。図6(a)～図6(d)は、ウェーハ上に見られる4つの欠陥、特に酸化シリコン層から得られる4つのx線スペクトルを示す図である。(エネルギーをx軸に沿ってプロットし、カウントをy軸に沿ってプロットする。) 図6(e)は、ホトレジストから得られたスペクトル、即ち、欠陥材料ライブラリに保存するために得られたスペクトルを示す図である。見られるように、図6(a)～図6(d)のスペクトルは全て約1.74keVが含まれている。しかしながら、図6(e)のスペクトルは、そのようなピークを含まない。従って、欠陥ライブラリ中の簡単な検索を用いることによりありそうなヒットが得られない。

【0041】図7(a)～図7(d)は、図6(a)～図6(d)の正味の欠陥スペクトルを示す図である。即ち、バックグラウンドスペクトルを得、共通元素の比を用いることにより共通元素であるシリコンが得られるのでNPEとして選ばれ、正規化バックグラウンドスペクトルを図6(a)～図6(d)のスペクトルの各々から引いたことにより、図7(a)～図7(d)のスペクトルが得られた。

見られるように、1.74keVのピークが取り除かれたので、ホトレジスト(図7(e))との明らかな適合が得られる。結果として、システムによりホトレジスト残留物である欠陥が同定された。

【0042】上記のように、本発明のシステムは、材料分析、特に、半導体ウェーハ上に残っている欠陥の材料分析に有利である。本システムにより物体の材料分析が改善されること、特にその物体がバックグラウンド上に位置するので集められたスペクトルがバックグラウンドの元素を含む場合に改善されることが理解される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】EDX信号を得るとともにその得られたスペクトルを表示させるための従来のシステムを示した図である。

【図2】本発明の実施形態によるEDXシステムを示した図である。

【図3】(a)は異なる材料の2層を有するウェーハを示す部分を示した図であり、(b)は粒子を有する以外はウェーハ上の対応する場所を示した図である。

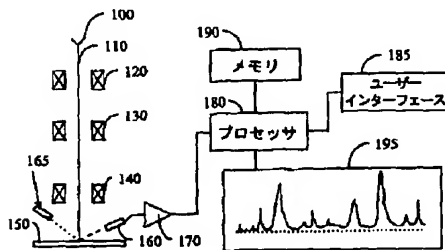
【図4】(a)～(d)は本発明を例示するのに有用なスペクトルカウント数である。

【図5】本発明の好適実施形態を例示するフローチャートである。

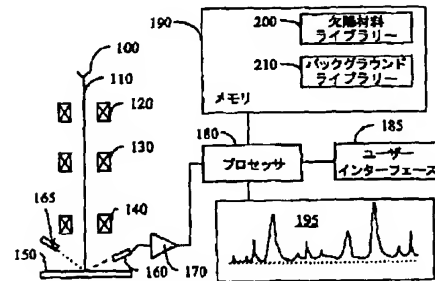
【図6】(a)～(d)は本発明のシステムにより得られた欠陥のスペクトルカウントであり、(e)はホトレジストのスペクトルカウントである。

【図7】(a)～(d)は、図6(a)のスペクトルカウントから得られた正味のスペクトルカウントであり、(e)は図6(e)と同じホトレジストのスペクトルカウントである。

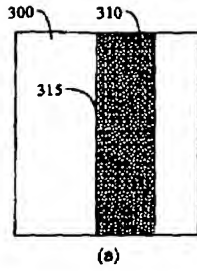
【図1】



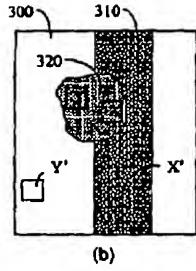
【図2】



【図3】

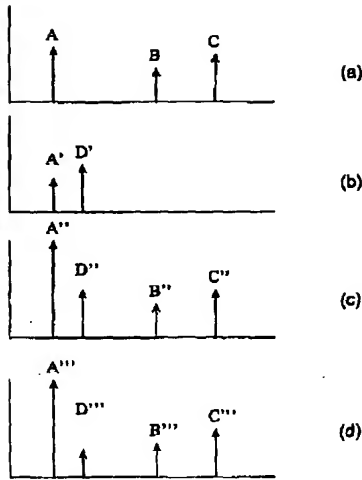


(a)



(b)

【図4】



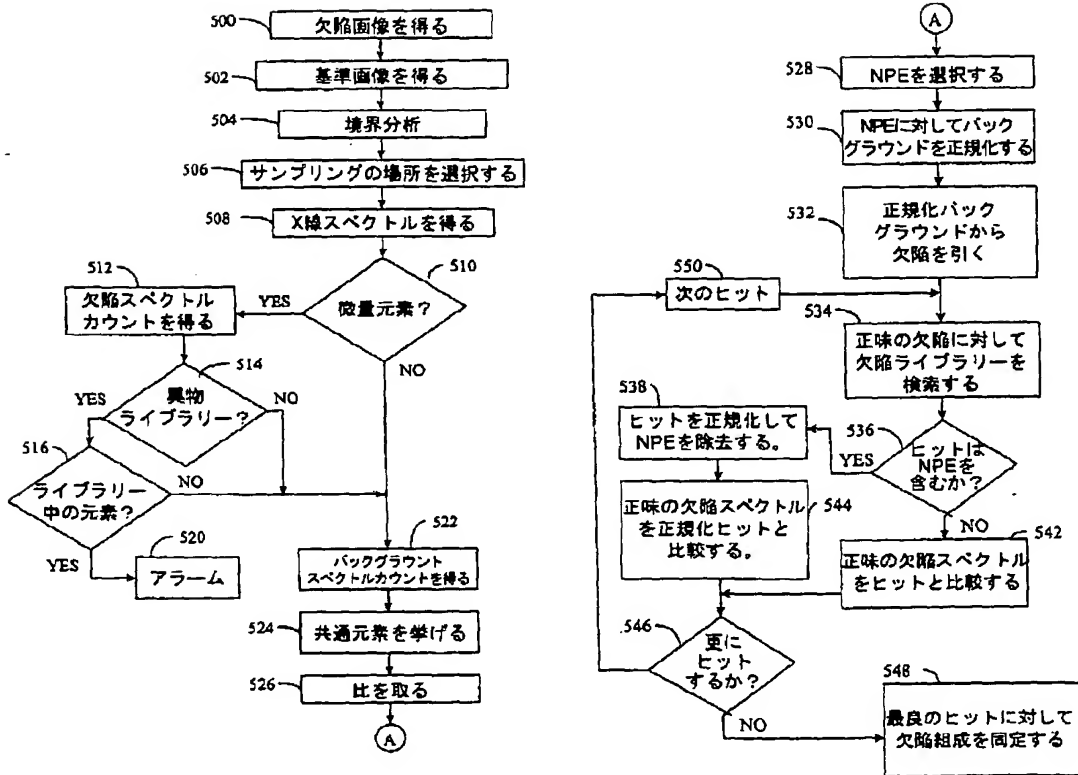
(a)

(b)

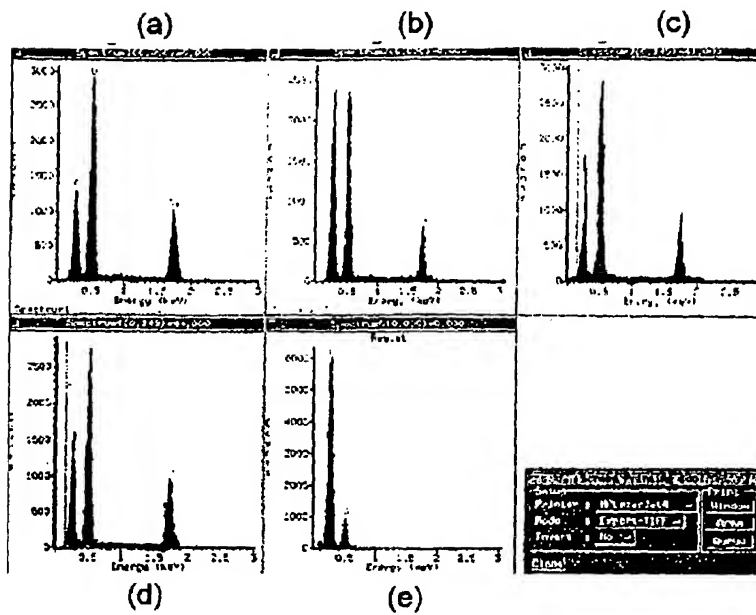
(c)

(d)

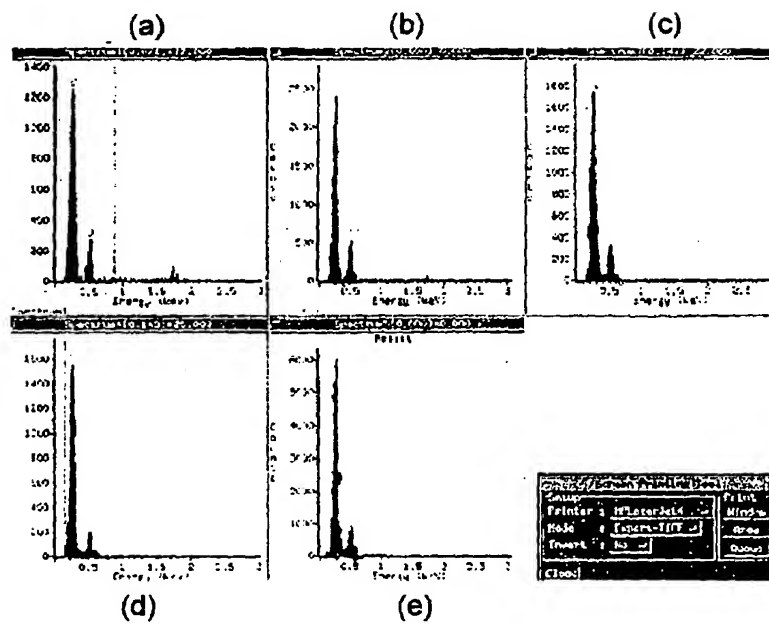
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 アレクサンダー カディシェヴィッチ  
イスラエル、 モディイン、 エメック  
アヤロン ストリート 14/14

【 外 国 語 明 細 書 】

1 Title of Invention

**A SYSTEM AND METHOD FOR AUTOMATIC ANALYSIS OF DEFECT  
MATERIAL ON SEMICONDUCTORS**

2 Claims

1. A method for automatic material analysis of an object within a background, comprising the steps of:
  - acquiring an object spectrum;
  - obtaining background spectrum;
  - obtaining count numbers from the object spectrum, corresponding to elements present in the object;
  - obtaining count numbers from the background spectrum, corresponding to elements present in the background;
  - analyzing the count numbers of the background and object spectra to determine whether an element appearing in the background and object spectra is a non-present element in the object;
  - standardizing the spectra count of the object according to the count of said non-present element to obtain a net object count; and
  - analyzing the net object count to determine the material composition of the object.
2. The method according to claim 1, wherein the step of analyzing comprises:
  - determining all common elements that appear in the count spectra of the background and object;
  - for each common element calculating a count ratio of object count to the background count for that element;
  - analyzing the ratios to determine whether any of the common elements is a non-present element.
3. The method of claim 2, wherein the step of analyzing the ratios comprises defining the element having the smallest ratio as the non-present element.
4. The method of claim 2, wherein the step of analyzing the ratios comprises selecting the smallest ratio and, if the smallest ratio exceeds a predetermined threshold, defining the element corresponding to the smallest ratio as a non-present element.

5. The method of claim 1, wherein the step of acquiring an object spectrum comprises:

- obtaining an image of the object;
- performing a boundary analysis to obtain an object footprint; and,
- selecting a point on the footprint from spectra measurement.

6. The method according to claim 1, wherein the step of standardizing comprises the steps of:

normalizing the spectra count of the background according to the count number of the non-present element to obtain a normalized background; and

subtracting the normalized background from the object spectra count of the object to obtain said net object count.

7. The method of claim 1, wherein the step of analyzing the net object count comprises comparing the net object count to an object material library.

8. The method of claim 6, wherein the step of analyzing the net object count comprises comparing the net object count to an object material library.

9. The method of claim 1, wherein the step of obtaining a background spectrum is performed by one of the methods:

- fetching a background spectrum from a memory;
- acquiring a background spectrum from a selected point on the background; and
- acquiring a background spectrum from a large background area near the object.

10. The method of claim 8, further comprising the steps of:

- for each entry in the object material library determining whether the entry contains the non-present element; and
- if the entry contains the non-present element, normalizing the entry to remove the non-present element.

11. The method of claim 10, wherein the step of normalizing the entry comprises reducing the level of all count of that entry by an amount corresponding to the count of the non-present element in that entry.

12. The method of claim 1, further comprising the steps of:  
comparing each element of the object spectra count to a list of elements in an object material library; and,  
if non of the element of the object spectra count appears in the list of elements in the object material library, defining said object as a foreign object.

13. The method of claim 1, further comprising the steps of:  
comparing each element of the object spectra count to a list of elements in a foreign object library; and,  
if one of the elements of the object spectra count appears in the list of elements in the foreign object library, defining said object as a foreign object.

14. A method for automatic material analysis of an object within a background, comprising the steps of:  
- acquiring an object spectrum;  
- obtaining count numbers from the object spectrum, corresponding to elements present in the object;  
- comparing each element of the object spectrum count to a list of elements in an object material library; and,  
- if non of the element of the object spectra count appears in the list of elements in the object material library, defining said object as a foreign object.

15. A method for automatic material analysis of an object within a background, comprising the steps of:  
- acquiring an object spectrum;  
- obtaining count numbers from the object spectrum, corresponding to elements present in the object;

- comparing each element of the object spectrum count to a list of elements in an object material library; and,
- if one of the elements of the object spectra count appears in the list of elements in the foreign object library, defining said object as a foreign object.

16. A system for material analysis of defects on substrates, said system comprising:
- an energized beam for causing said substrate to emit x-rays;
  - an x-ray detector collecting x-rays emitted from the sample;
  - a processor receiving and analyzing the output of the x-ray detector;
  - at least one of a defect material library and a background library.

### 3 Detailed Description of Invention



**Field of the Invention**

This invention relates to a system and a method for identifying the material composition of a sample by analysis of X-ray spectra emitted therefrom, and is most advantageous for identifying the material composition of defects found on semiconductor wafers.

**Background of the Invention**

During the fabrication of devices on semiconductor wafers, the wafers undergo periodic inspection for defects. When such defects are discovered, it is important to identify the root-cause for the defects in order to correct the problem and avoid introducing similar defects to other wafers. However, it is prohibitively expensive to shut down the production line while a prolonged analysis of the root-cause is being performed. Therefore, the more information is gathered about the defect in the shortest time, the faster the root cause can be identified and the proper corrective actions can be implemented. One piece of important data which can help identify the root-cause is the composition of the material of the defect. Many attempts have been made in the art to obtain such identification.

One of the common techniques used in the microelectronics industry for analyzing the composition of materials is Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (widely referred to as EDX or EDS) analysis. EDX analysis is generally performed using a Scanning Electron Microscope (SEM). The sample to be analyzed is irradiated by a primary beam of electrons, which causes x-ray emission from the sample's surface as the electrons of the atoms on and near the surface fall from their excited states to lower energy states. In general, the fundamental emissions, which are denoted as K, L and M-series are unique for each element. This provides a "finger print" which enables identification of the elements present on or near the surface of the sample. Both qualitative and quantitative analysis can be performed. The intensity of the x-ray signal is determined by a number of factors, such as the primary beam's energy, the detector's angle, the film thickness,

the surface roughness and the concentration of the elements within the sample. The latest technology can detect elements from Be to U with high accuracy.

Wavelength-dispersive spectrometers (WDS or XRF) and EDX are also widely used in plasma research and various thin film and surface analysis. Examples of various x-ray material analysis systems include: Philips PW1400 wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometer; Rigaku RIX-3000; Kevex energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometer; Voyager by Noran and Link by Oxford. For further informative reading, the reader is referred to USP 5,659,172; 5,118,041; 5,065,020; 4,988,872; and 4,382,183, the teachings of which are incorporated herein by reference.

As noted above, EDX analysis is used in the semiconductor industry, among others, to analyze the composition of defects on the wafers. An SEM system having EDX capabilities is exemplified in Figure 1. An electron source 100 is activated to emit electrons, which are then formed into a primary electron beam 110 by lenses 120 and 130. Deflection coils 140 are used to direct and/or scan the beam onto the sample 150. The generated secondary electrons (SE) and the back-scattered electrons (BSE) are sensed by the electron detector 165, the output of which is used to generate an SEM image of the sample. Additionally, when the EDX system is activated, x-rays emitted from the sample 150 are detected by sensor 160, the signal of which is amplified by an amplifier 170 and sent to processor 180 for processing. The processor is connected in a known manner to a user interface 185 and memory 190. The output of the processor is provided in the form of a plotted spectrum 195.

In examining a sample using the system exemplified in Figure 1, the user directs the primary electron beam onto the detected defect and acquires the x-ray emission. The processor 180 then displays the spectrum 195 of the acquired X-ray emission, and the user analyzes the spectra peaks to obtain a list of the elements known to produce such peaks. However, this manual method is slow, cumbersome, and is affected by the fact that x-rays emitted from the defect include x-rays emitted from the background. Consequently, it is rendered hard, and sometimes impossible, to distinguish between the material of the defect and the material of the background, i.e., the wafer. This is

particularly problematic in patterned wafers in which the top layer may include various elements which constitute the dielectric, metal lines, contact holes, etc.

In the prior art, it is attempted to overcome this difficulty by separately acquiring the x-ray spectra of the substrate and of the particle. In practice, the user has to manually point the primary beam to a selected location on the defect and a selected location on the background. The selection of the appropriate location is made by the user in reliance on his knowledge and experience. Then, the user qualitatively identifies spectra peaks that appear in both the background and the substrate, and decides based upon his experience whether to attribute each of such common element to the substrate. As can be seen, in addition to being slow, the results obtained from such a process can vary from operator to operator, depending on their knowledge and experience. Thus, there's a need in the prior art for a system which automatically investigates the defect and the background spectra to correctly identify the material constituting the defect.

#### **Summary of the Invention**

The present invention provides a system for automatic EDX analysis of defects, quantitatively taking into consideration x-ray signal attributable to the background. The system is particularly beneficial for analysis of defects on semiconductor wafers and, due to its automation, is suitable for in-line inspection of wafers in the fabrication plant.

One advantageous feature that enables the system to have a high throughput is termed "trace element analysis." As is known, basically two types of particle defects can be present on a wafer: one type is a leftover processing material, such as a particle left from etching, a photoresist residue, etc. The other type is "foreign" particles, i.e., particles introduced from external sources, such as the processing chamber's walls, the chuck holding the wafer, vacuum and gas lines, etc. In production-line monitoring, it is very important to rapidly identify foreign particles since they indicate that a processing chamber is failing and requires repair or service. Accordingly, in the trace element analysis the system analyzes the x-ray spectra obtained and, if an element that under no circumstances should be present on a wafer is noted, such as iron for example, the system immediately issues an alarm that a foreign particle has been introduced. This

helps focus the yield engineer to investigate problems relating to the equipment and not the process.

Another advantageous feature of the invention is its ability to automatically perform EDX analysis of defects, taking into consideration x-ray signal attributable to the background. Specifically, the system is capable of automatically identifying suitable locations for background and defect x-ray sampling. The system is also capable of effectively and quantitatively, rather than qualitatively, remove signals attributable to the background and not the defect.

The general steps of the inventive method include (not necessarily in that order):

- 1 - detecting the defect;
- 2 - analyzing the image of the defect and its surroundings;
- 3 - determining the preferred point on the defect for the defect EDX spectrum acquisition, and acquiring the EDX spectrum of the defect;
- 4 - analyzing the defect spectrum and performing the simple trace element analysis;
- 5 - either determining the preferred point on the substrate for the substrate EDX spectrum acquisition and acquiring an x-ray spectra from the preferred point, or selecting the background spectrum from a library;
- 6 - comparatively analyzing the defect and background spectra to yield a net defect spectrum identifying the composition of the defect material;
- 7 - comparing the net spectrum to the spectra in a defect material spectrum library to identify the nature and source of the defect.

**Detailed Description of Preferred Embodiments**

Figure 2 exemplifies an EDX system according to an embodiment of the present invention. Elements in Figure 2 which are the same or similar to those in Figure 1 are identified with the same characters. A noticeable distinction in the system of Figure 2 is the addition of a defect material library 200 and a background material library 210. While the libraries are indicated inside memory 190, they may reside in a different memory of the system, or may be a remote memory accessible by the system via the plant's network, or any other means.

The libraries are basically memory areas and may or may not have pre-loaded data. More specifically, the defect material library 200 includes spectral data relating to materials that generally constitute defects. For example, such material may be various photoresists used in the industry or various metals used for lines and contact holes. The defect library may or may not include data relating to "foreign matter" defects. When data related to "foreign matter" defects is included, it is preferably segregated from the other defect material data and preferably includes data relating to the possible sources of such foreign material (e.g., chamber walls for metals and vacuum lines for organic material). The background material library 210 contains spectral data relating to the various layers on the wafer which may constitute the background when the defect image is acquired. The background data can be pre-loaded, obtained during the set-up

procedure, or acquired during the normal operation of the system. The processor 180 advantageously uses the libraries, as explained further below, to automatically isolate the spectra of the defect from the background and properly identify the defect's material composition.

In the preferred embodiment, the background and defect images are acquired by an SEM capable of collecting SE and/or BSE electrons from different angular sectors, thereby generating images from multiple perspectives. This type of SEM enables high resolution imaging of various topographic features. Such an SEM is described in USP 5,644,132 and 4,941,980, the entire disclosures of which are incorporated herein by reference. However, it should be appreciated that the invention can be implemented with any other system capable of imaging the sample, and causing an x-ray emission from the sample.

Before commencing the material analysis, the system of Figure 2 performs preliminary operations, as will be discussed with reference to Figures 3a and 3b. Specifically, Figure 3a depicts an image of a certain location on the wafer, while Figure 3b depicts an image of a similar location, but having a defect thereupon. The location of Figure 3b may be a different die (especially for logic devices) or a different cell (especially for memory devices) than that of Figure 3a, but its coordinates within the die or cell are similar to that of Figure 3a. The surface of the location depicted comprises a insulator material 300 (e.g., dielectric) and a line feature 310 (e.g., deposited metal or ion implanted line), which are of different composition. The defect material 320, is of yet another composition.

The first task the system of Figure 2 has to accomplish is to re-detect the defect, and then isolate it from the rest of the image. That is, when a wafer is loaded onto the system, a defect map is also loaded onto the system. A defect map is produced by conventional techniques, such as by scanning the surface of the wafer with a high-speed inspection tool (a CCD, a laser or an SEM may be employed for this purpose). Then using statistical methods, typically involving algorithms and/or gray-scale analysis, the inspection tool identifies suspected locations on the wafer having a high probability of

having a defect. The output of such an inspection tool is generally referred to as a defect map. So, when a wafer is transferred from the inspection system to a defect review system, its corresponding defect map is also transferred.

However, since the field of view of a defect review SEM system is generally smaller than that of an optical system, and its resolution is more than an order of magnitude better, the coordinates provided in the defect map frequently do not translate to accurate positioning of the SEM's primary beam over the defect. Thus a procedure has to be followed to "re-detect" each defect designated in the defect map. Although any known re-detection procedure would suffice, the preferred method is that described in the above cited USP 5,659,172.

Once the defect has been re-detected and a SEM image of it and a reference area has been obtained - e.g., as depicted in Figures 3a and 3b - the system performs a "defect boundary" analysis. This is done by comparing the images of Figures 3a and 3b and determining which edge boundaries are present in Figure 3b, but absent in Figure 3a. The defect boundary analysis provides a defect footprint, i.e., a contour boundary of the defect which is in essence a boundary curve drawn around the defect which includes only the defect. Thereafter, the system is basically ready to begin the material analysis, which can be done in various ways, as will be described below.

As depicted in Figure 3b, the defect may lie on a background comprising more than one material, e.g., two are depicted in the Figures. Therefore, the system next selects a sampling location which lies over only one material. This may be, for example, either the location marked X or the location marked Y in Figure 3b. If desired, both locations can be chosen and the analysis can be performed for each location. The system then acquires two spectra: one at the chosen defect location, and one at a clear location of the background material, e.g., the locations marked X' and Y'.

The selection of the preferred point on the defect for the EDX sampling can be done in various manners, including by geometrical considerations. For example, if the defect lies on a single background material, the preferred point can be the center of the defect,

i.e. the point on the defect which is further away from all defect boundaries. This can be defines as, for example, the mid-point of the major axis of the defect, the mid-point of the minor axis of the defect, the crossing point of the major and minor axes of the defect (provided it is within the defect boundaries) etc.

If the particle resides on the boundary of two or more structure features, the defect footprint may first be divided into corresponding regions. This can be done, e.g., by noting the boundary line in the reference image that is missing from the defect image. In the example, a section of boundary line 315 of Figure 3a is missing in Figure 3b. This section of the boundary line can be used to divide the defect footprint to a section laying over insulator 300 and a section lying on line feature 310. Then, if one wishes to perform the analysis only once, i.e., with respect to only one background material, the system may first determine which section of the divided defect footprint is larger. The "center" determination exemplified above can then be applied to the chosen section.

Additionally, it should be appreciated that the selection of the actual point to sample the defect may be the entire defect. That is, one can illuminated the entire general area of the defect and sample the x-ray signal obtained therefrom. This may be especially the case where the defect's size is on the order of the primary beam's diameter.

The background spectra used for the proceeding analysis can generally be obtained from the following sources:

I - Sampling all the possible backgrounds in advance, and storing the obtained spectra in the background library 210. Then appropriate data can be fetched according to the position of the defect on the background per the boundary analysis.

II - Acquiring a spectrum outside the defect's geometrical area according to the defect boundary analysis.

III - Acquiring a spectrum of a large area around the defect, the area being sufficiently large so that the defect weight will be negligible and the acquired spectrum will represent the background underneath the defect.

IV - Acquiring spectrum in a reference die at the same position of the defect.



The system then performs a quantitative analysis of the defect and background spectra, to obtain the net count numbers of the different elements present in the spectra and the background. The system then has three sets of data available to it as shown in Figures 4a-4d: count numbers of the defect materials for the various entries in the defect library (one entry is shown in Figure 4a and another in Figure 4d); count numbers of the background spectra (Figure 4b); and count numbers of the defect spectra (Figure 4c). Note that in Figures 4a-4c a single prime designates the count number of that element in the background spectra, and a double prime designates the count number of that element in the defect spectra.

Then, a list of the elements that are present in both the defect and background spectra is generated (e.g., for Figures 4a-4c it would be elements A and D). For each element in the list, a ratio of its net count in the defect spectra to the net count in the background spectra is calculated (e.g.,  $A''/A'$  and  $D''/D'$ ). It is then assumed that the element having the smallest ratio is an element which is not present in the defect, i.e., its spectra is attributable solely to the background material (hereinafter, this element would be referred to as a "non-present element" or "NPE"). From the example of Figures 4a-4c, it can be seen that the ratio  $D''/D'$  would be smaller than that of  $A''/A'$ . However, it should be appreciated that other algorithms may be used. For example, a NPE ratio may be set, so that only if the smallest ratio exceeds the NPE ratio it is considered as a non-present element. If no NPE is found, the system may then proceed to the comparison stage and skip the normalization stage.

According to the preferred embodiment, the proceeding steps are performed under the assumption that the acquired spectrum at the chosen location is a linear combination of x-ray emitted from the defect material and the background material under the defect. While this assumption simplifies the process for fast analysis, relationships other than linear may be used. Specifically, since a linear relationship is assumed, the background spectra is normalized according to the count of the element which was determined not to be present in the defect. This normalization can be linear per the preferred embodiment, or otherwise if chosen. The resulting normalized background spectra is then subtracted from the defect spectra to obtain a net defect spectra. In the example of Figures 4a-c:

$A'' - \Delta'$ , where  $\Delta'$  designated the count number of  $A'$  normalized by the count number of  $D'$ . The net defect spectra is then compared to the defect material library 200 to determine the nature of the defect, e.g., left over resist material.

A numerical example is provided herein for further clarification of the invention. A defect spectrum and a background spectrum are obtained. In both spectra elements O and Si are present among other elements, with the following counts:

In the defect spectrum: O - 1000 net counts, Si - 500 net counts

In the background spectrum: O - 10000 net counts, Si - 10000 net counts

The defect/background spectra ratios are 0.1 for O and 0.05 for Si, and therefore Si is designated as the non-present element (i.e., having the smaller ratio). The background spectrum is then normalized according to the non-present element Si net count number in the defect spectrum. In this numerical this example, the background spectrum is normalized to have 500 net counts in the Si line (i.e., the background spectrum count is divided by 20). The normalized background is then subtracted from the defect spectrum so that Si is removed from the defect spectrum, and O is adjusted correspondingly.

Of course, the assumption that the element having the smallest ratio is not present in the defect material may not hold true. There are possible cases where some or all of the elements that appear in the background spectrum are present in the defect material. Therefore, the system may also perform the following procedure. First, the defect material library is scanned for those defect materials which include the element considered non-present, and a collection of those hits is obtained. Then, for each hit from the collection, the system normalizes the background spectra according to the net count of the "not present" element in that hit, and subtracts the normalized background spectra from the hit (i.e., so that the "non present" element would be removed from the hit). Then the system compares the net defect spectra to the hits that were normalized in this manner. The hits that do not include the non-present element are compared to the net defect spectrum without any preliminary processing. In general, the comparison can be based on the least square method or any other algorithm.

For example, assuming that from the defect material library 200 the system obtains a hit having the defect material data as exemplified in Figure 4d, which includes a certain amount of element D (triple prime indicating that the element appears in one of the hits obtained from the defect material library). The background spectra is then normalized according to D''', so that when the normalized background spectra is subtracted from the hit spectra, D''' will be deleted from the hit spectra. The hit net spectra is then compared to the net defect spectra to identify the nature of the defect material.

A particularly advantageous feature of the invention will now be described, which is referred to herein as the "trace element analysis." In many cases, the presence of some specific element (or few elements) in the defect spectrum determines the defect material or suggests its source. For example, no iron (Fe) is used in the fabrication of semiconductor devices. The detection of any amount of such element on the defect spectra suggests immediately that it was introduced from an external source, and is probably not a result of defective fabrication exact recipe. Therefore it is advantageous to flag such a defect immediately. This is done using the inventive trace element analysis.

For the trace element analysis the procedure is rather simplified and rapid. Specifically, an x-ray spectra is collected from any chosen location on the defect and analyzed for its composition. If the spectra includes traces of any element <sup>combination</sup> which is included in the foreign matter defect library, the defect is flagged as being caused by an external source and a list of potential causes for that foreign material is fetched from the foreign material library. If a foreign material library is not used, the defect is flagged as being caused by an external source if the collected spectra includes traces of an element which is not listed in any of libraries 200 and 210.

An exemplary flow chart for carrying out the invention is provided in Figure 5. A defect and reference images are obtained in steps 500 and 502, and a boundary analysis is performed at step 504. A sampling location is then selected, step 506, and an x-ray sampling is collected at step 508. If a trace element analysis is to be performed (junction 510), the process proceeds to step 512. Otherwise, it proceeds to step 522.

In step 512 count numbers of the defect spectrum is obtained to determine the elements present in the spectrum sample. If a foreign matter library exists (junction 514), it is determined whether any of the elements <sup>combination</sup> from the spectra sample matches an element from the library (junction 516). If so, an alarm is issued. Additionally, if the foreign element library includes data regarding possible sources of that element, the data is made available to the user. ~~On the other hand, if none of the elements from the sample appears in the foreign element library, or if no foreign element library is available, it is checked whether any of the elements from the sample does not appear in the background and the defect matter libraries (step 518). If an element is found which appears in the sample but not in any of the libraries, an alarm is issued. If all the elements from the sample appear in either the background or the defect matter libraries, the process continues to step 522.~~ <sup>do not fit any element</sup>

In step 522 count numbers of the background spectra is obtained, and in step 524 a list of the common elements, i.e., elements that appear in both the defect and background spectra, is made. In step 526 the ratios of all the common elements from the defect and the background are obtained, and in step 528 the element corresponding to the smallest ratio is selected as the NPE. In step 530 the background spectra is normalized per the NPE and, in step 532, the normalized background spectra is subtracted from the defect spectra. The system then searches the defect material library to find the best match. For each hit, the system checks whether it contains the NPE (junction 536). If so, the system normalizes the hit to remove the NPE from the hit spectra count (step 538) and then compares it to the net defect spectra count (step 544). If the hit does not contain NPE, it is compared to the net defect spectra count without normalization. To exhaust all the hits, a loop (steps 546, 550) is provided. When all the hits have been exhausted, the best hit is then provided as the defect material, together with any other information available from the defect material library (step 548).

It should be appreciated that the embodiments described above are exemplary, and the invention is not limited to such implementation. To the contrary, various variations and

modifications may be made without departing from the scope and spirit of the invention, as defined in the appended claims.

For example, in various circumstances, the material composition of the background will be known beforehand. One simple such example is when inspecting bare or non-patterned wafers. If the wafer is a "bare wafer", it is basically a substrate of known composition, i.e., silicon. Thus, any element detected other than silicon comprises a defect. Similarly, if the wafer is a "non-patterned" wafer, for example, monitoring wafers, the material composition of the top uniform layer is known, e.g., a SiO<sub>2</sub> dielectric. Under such circumstances, there is no need to sample the spectra on the background. Instead, one can store a collection of such material spectra in the background library 210, and when the background spectra is needed for computation and analysis, the processor 180 fetches that spectra from the library 210.

Of course, the above-noted process is not limited to bare or non-patterned wafers, but can be used anytime the background composition is known beforehand. Thus, for example, the system can be programmed so that during the set-up process (e.g., recipe preparation), the user takes spectra sampling of selected locations on the wafer corresponding to the various different materials present on the top layer. The system then compares each sample to the background library and determine the material constituting the background. Once a list of the materials present on the wafer on the various background locations is obtained, the system need not sample the background spectra anymore. Instead, it fetches the data required for computation and analysis from the background library 210.

Another useful modification is as follows. Whenever the background library 210 contains no data, or contains no data pertaining to the specific layer to be inspected, the system can create or update the background library during the set-up procedure. Specifically, the system samples the spectra on various locations on the wafer, corresponding to the different material present on the layer under investigation. The spectra is analyzed for count numbers, and stored in the background library 210.

Thereafter, whenever the processor 180 requires background data for computation or analysis, it fetches the background data from the library 210.

A system according to the above described preferred embodiment was used to investigate defects on a semiconductor wafer. Figures 6a-6d depict four x-ray spectra obtained from four defects found on the wafer, specifically, from a silicon oxide layer. (The energy is plotted along the x-axis, while the count is plotted along the y-axis.) Figure 6e depicts a spectrum obtained from a photoresist, i.e., a spectrum acquired for storage in the defect material library. As can be seen, all the spectra of Figures 6a-6d include a peak at about 1.74keV; however, the spectra of Figure 6e does not include such a peak. Thus, using a simple search in the defect library would not result in a probable hit.

Figures 7a-7d depict the net defect spectra of Figures 6a-7d. That is, a background spectra was obtained, ratios of common elements were taken which resulted in silicon as being the common element and therefore selected as the NPE, and the normalized background spectra was subtracted from each of the spectra of Figures 6a-6d, resulting in the spectra of Figures 7a-7d. As can be seen, the peak at 1.74keV was eliminated and, thus, a clear match to photoresist (Figure 7e) can be obtained. Consequently, the system identified the defects as being photoresist residue.

As demonstrated above, the inventive system has beneficial advantages for material analysis, especially material analysis of defects residing on semiconductor wafers. It would be appreciated that the system can improve any material analysis of an object, especially when such object is situated on a background so that the collected spectra may include elements of the background.

#### 4 Brief Description of Drawings

Other features and advantages will become apparent from the following detailed description of the preferred embodiments, referencing the various Figures, in which:

- Figure 1 depicts a conventional system for acquiring EDX signals and displaying the acquired spectra;
- Figure 2 depicts an EDX system according to an embodiment of the invention.

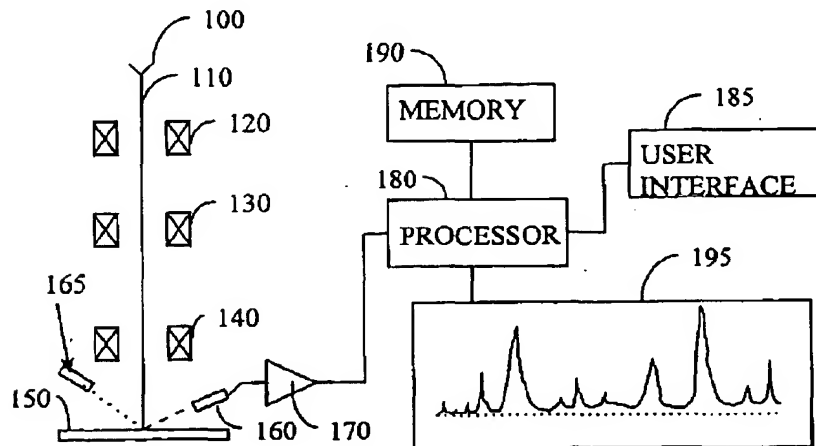
- Figure 3a depicts a section of a wafer having two layers of different material thereupon, while Figure 3b depicts a corresponding location on the wafer but having a particle thereupon.

- Figures 4a-4d depict various spectra count numbers useful for exemplifying the present invention.

- Figure 5 is a flow chart exemplifying the preferred embodiment of the invention;

- Figures 6a-6d are spectra counts of various defects obtain by a system according to the invention, while Figure 6e is a spectrum count of a photoresist; and

- Figures 7a-7d are net spectra counts obtained from the spectra counts of Figures 6a-6d, while Figure 7e is the same as Figure 6e.



*Figure 1*

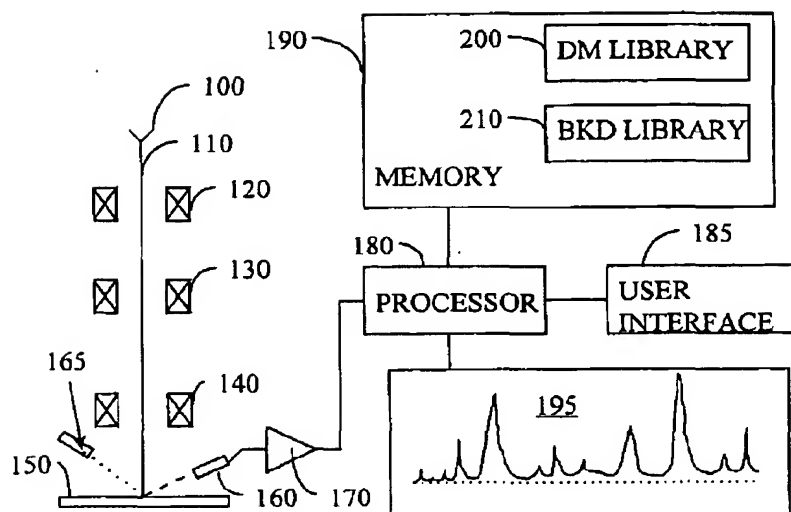


Figure 2

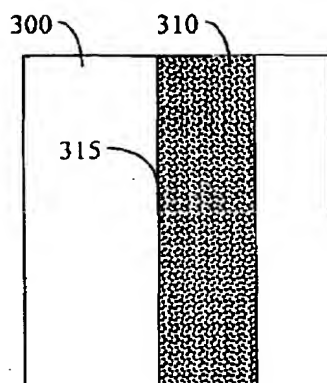


Figure 3a

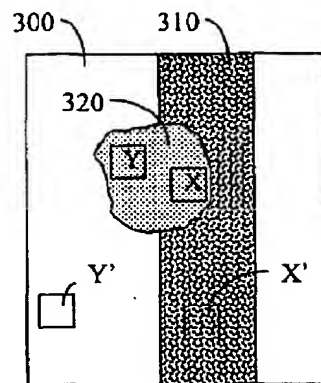
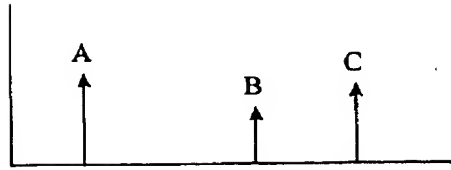
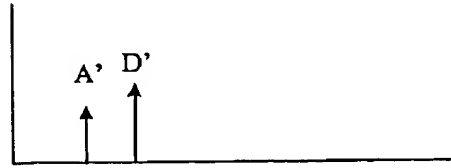


Figure 3b

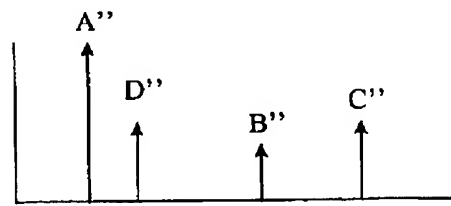




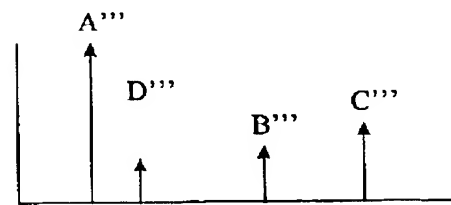
*Figure 4a*



*Figure 4b*



*Figure 4c*



*Figure 4d*

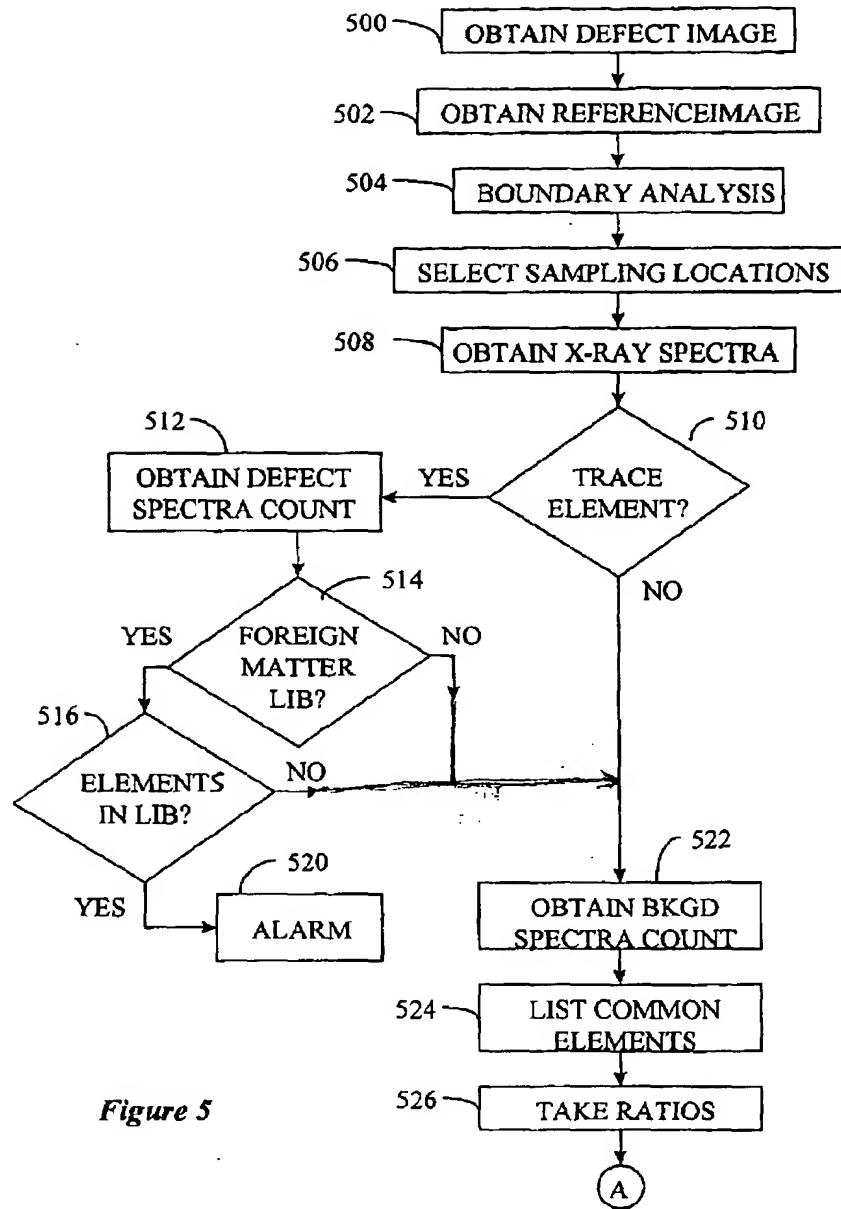


Figure 5

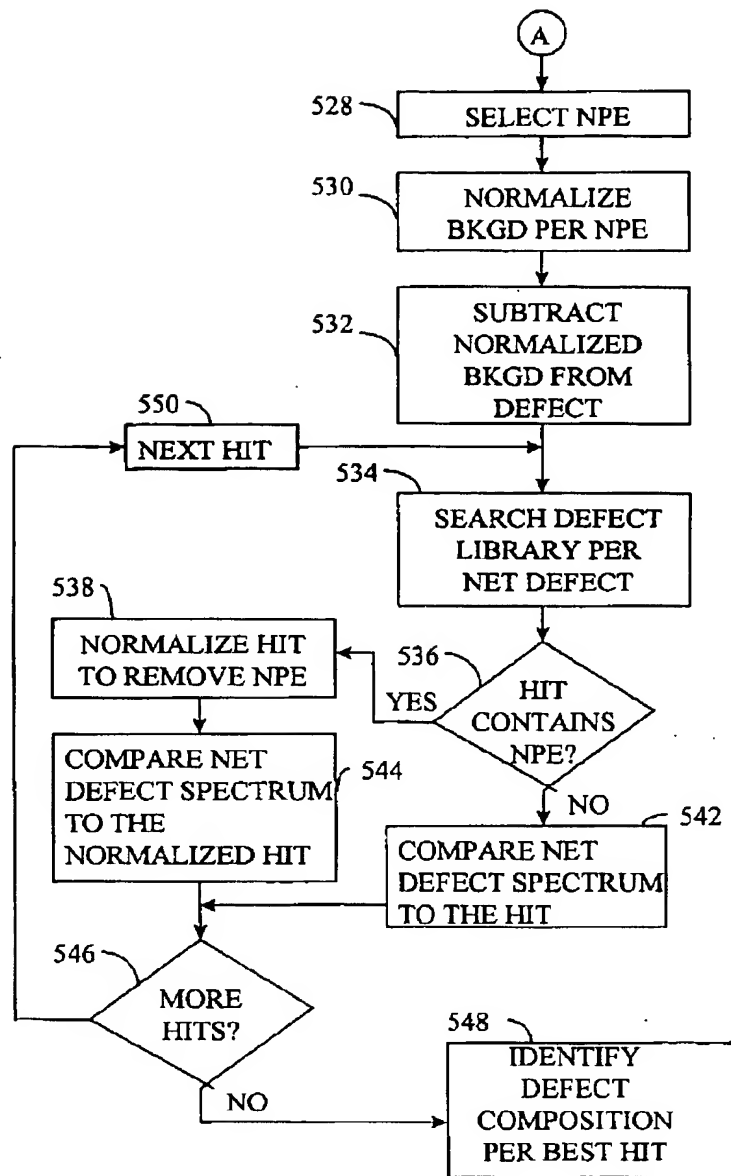
*Figure 5 (Cont.)*

Figure 6a

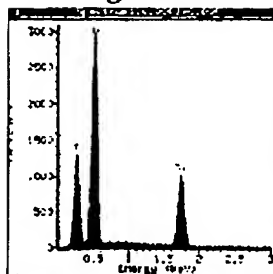


Figure 6b

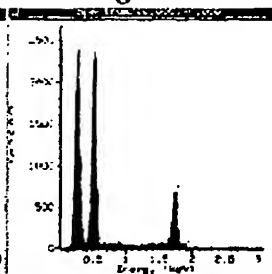


Figure 6c

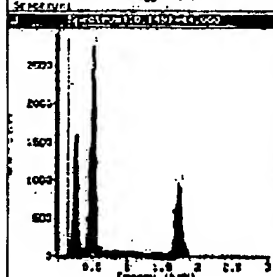
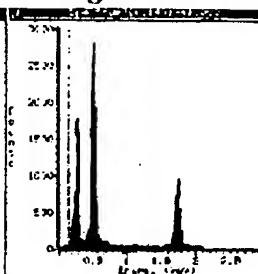


Figure 6d

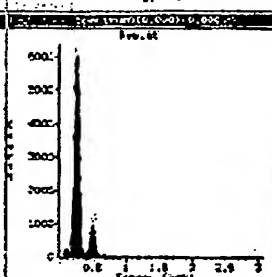


Figure 6e

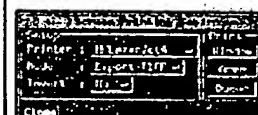


Figure 7a

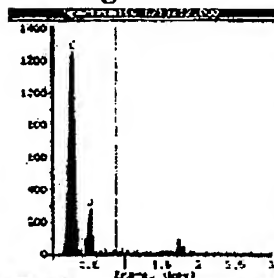


Figure 7b

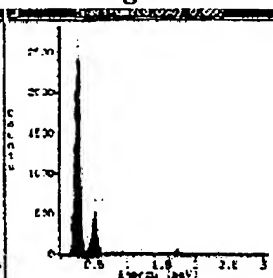


Figure 7c

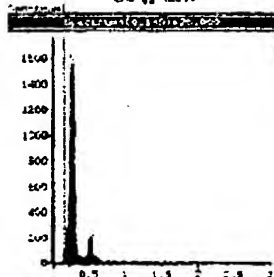
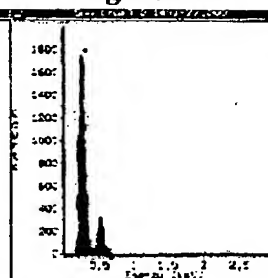


Figure 7d

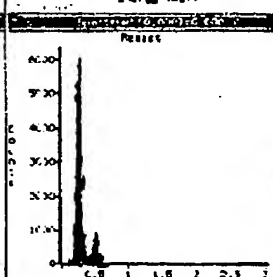
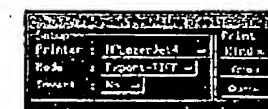


Figure 7e



A system for automatic EDX analysis of defects is described, which quantitatively takes into consideration x-ray signal attributable to the background. The system is capable of automatically identifying suitable locations for background and defect x-ray sampling. The system is also capable of effectively and quantitatively, rather than qualitatively, remove signals attributable to the background and not the defect. One advantageous feature that enables the system to have a high throughput is termed "trace element analysis." The system is particularly beneficial for analysis of defects on semiconductor wafers and, due to its automation, is suitable for in-line inspection of wafers in the fabrication plant.